



Master : Biologie Géosciences Agro ressources & Environnement

Mention : Ecologie biodiversité

Spécialité : Biodiversité évolution

Parcours : Biodiversité Végétale Tropicale

## **Profondeur d'enracinement des arbres de la forêt tropicale humide comparaison entre**

**deux types de sols de la République Centrafricaine**

**Par Christelle Joëlle WONKAM NJONANG**

Stage de Master 1

01 mars-05 août 2011

Réalisé sous la direction de **Vincent Freycon, Adeline Fayolle et Sylvie Gourlet-Fleury**

UPR CIRAD Biens et Services Forestiers, Montpellier, Campus international de Baillarguet

TA C-37/D. Campus International de Baillarguet 34 398 Montpellier Cedex

Soutenu le 06 septembre 2011 à Montpellier

## **Remerciements**

Je remercie tous ceux qui m'ont aidé durant ce stage. Je pense ainsi :

- A l'Agence Française de Développement (AFD) qui a financé l'intégralité de mon stage
- A mes encadrants et responsables académiques: Vincent Freycon, Adeline Fayolle, Sylvie Gourlet-Fleury, François Munoz et Claude Edelin.
- Aux chercheurs qui m'ont soutenu dans l'élaboration du protocole expérimental : Jean-Paul Laclau (CIRAD), Catherine Roumet (CEFE), Christophe Jourdan (CIRAD), et aux enseignants de l'Université de Bangui, Hubert Mapoka et David-Christian Vonto pour leur commentaire sur la nature des roches prélevées.
- A l'équipe du PARPAF, ECOFAC et IFB pour leur appui logistique et leur accueil chaleureux. Je remercie particulièrement Didier Hubert (PARPAF), Jonas Bobero (Conservateur ECOFAC à Ngotto) et David Déola (Responsable de l'IFB à Ngotto)
- A la grande équipe de terrain à M'baïki et Ngotto, à l'instar des sept puisotiers et le personnel ARF pour leur sens d'accueil et leur dynamisme.
- A Fabrice Bénédet, Nicolas Fauvet, Guillaume Cornu et Frédéric Mortier pour leur appui technique lors de mes analyses de données (SIG, programmation R).

## **Liste des abréviations**

AFD : Agence Française de Développement

ARF : Appui à la recherche forestière

dbh : « diameter at breast height » diamètre à hauteur de poitrine mesuré à 1,30 m du sol

ECOFAC : Ecosystème Forestiers d'Afrique Centrale

IFB : Industrie Forestière de Batalimo

PARPAF : Projet d'Appui à la réalisation de Plans d'Aménagement Forestiers

RCA : République Centrafricaine

## Liste des figures et photos

**Figure 1:** Carte géologique de la zone d'étude

**Figure 2:** Aire de distribution du sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) en Afrique

**Figure 3:** Représentation schématique de l'environnement du sapelli étudié

**Figure 4:** Profil de sols sableux de Ngotto et des sols sablo-argileux de M'baïki

**Figure 5:** Distribution verticale des racines dans les quatre fosses suivant la profondeur (0-600 cm à M'baïki et 0-300 cm à Ngotto) et la taille des racines : a) racines totales b) racines fines, c) racines moyennes et d) grosses racines

**Figure 6:** Relation impact racinaire de la fosse et sondages tarières, recherche du front racinaire dans les deux sites : comparaison du nombre de racines comptés dans les deux cas à 20 cm de profondeur. Fosse : 280-300 cm et 580-600 cm de profondeur respectivement à Ngotto et à M'baïki.

**Figure 7:** Comparaison du nombre de racines suivant leur taille et par sites de 0-300cm de profondeur

**Figure 8:** Distribution spatiale des racines à M'baïki (a) et à Ngotto (b)

**Photo 1 :** Roche prospectée par les racines fines à 590 cm de profondeur à M'baïki\_F1 (a) ; Echantillons de roches prélevées avec la profondeur à M'baïki\_F1 (b) et à M'baïki\_F2 (c).

## Liste des tableaux

**Tableau 1:** Coordonnées GPS des fosses étudiées à M'baïki et à Ngotto

**Tableau 2:** Ngotto-F1, Estimation du nombre de racines entre 0 et 10 cm de profondeur

**Tableau 3 :** Ngotto\_F2, Estimation du nombre de racines entre 0 et 10 cm de profondeur

**Tableau 4:** Comparaison du nombre de racines entre les fosses de M'baïki et celles de Ngotto, par classe de taille, avec la profondeur

**Tableau 5:** Comparaison de la fréquence relative des racines (%) entre les fosses de M'baïki et celles de Ngotto par classe de profondeur, en fonction de la taille des racines

**Tableau 6 :** Test de chi-deux réalisé en comparant les profils deux à deux

## **I. Introduction**

### **I.1. Contexte général**

Le climat est l'un des facteurs qui détermine la distribution des espèces (Prentice, 1990). Dans le contexte actuel des changements planétaires, plusieurs méta-analyses ont montré une réponse cohérente de la distribution des espèces et de la biodiversité aux changements du climat (Parmesan et Yohe, 2003; Root et *al.*, 2003). Les forêts tropicales humides sont sensibles aux changements du climat. Il a été montré que les forêts amazoniennes sont particulièrement vulnérables aux événements de forte sécheresse (Phillips et *al.*, 2009). En forêt tropicale, la profondeur d'enracinement détermine l'accès à l'eau et donc la survie des arbres pendant un événement de sécheresse. Les racines profondes constituent une sorte d'« assurance-vie » pour les arbres (Drénou, 2006). Il est par ailleurs estimé que les forêts sempervirentes d'Amazonie dépendent des racines profondes pour maintenir la canopée toujours verte durant la saison sèche (Nepstad et *al.*, 1994).

### **I.2. Rôle fonctionnel des racines**

Le rôle fonctionnel joué par les racines dépend de leur profondeur mais aussi de leur taille (Baize et Jabiol citant Bohm, 1979 ; Drénou, 2006). Les racines jouent trois rôles essentiels dans le fonctionnement des plantes: un rôle de stabilité essentiellement assuré par les grosses racines (> 10 mm), un rôle de stockage des matières nutritives, et un rôle d'alimentation en eau (racines profondes) et en éléments minéraux (racines fines et moyennes, < 2 mm et entre 2 et 10 mm respectivement) (Baize et Jabiol citant Bohm, 1979). La majorité du système racinaire se situe dans le premier mètre sous la surface du sol, où les éléments nutritifs sont les plus nombreux (Laclau et *al.*, 2001). En milieu tropical, ceci est encore plus marqué, car la fertilité chimique des sols repose uniquement sur le recyclage de la matière organique, on parle alors de recyclage « direct » des éléments nutritifs (Herrera et *al.*, 1978 ; Jordan et *al.*, 1985; Vitousek et Sanford, 1986 ; Drénou, 2006). Les racines profondes sont essentiellement des racines fines et ne pénètrent rarement à une profondeur excédant 150 cm, mais, en conditions hydriques limitantes, elles peuvent descendre plus profondément (Baize et Jabiol citant Bohm, 1979 ; Drénou, 2006).

### **I.3. Déterminants de la profondeur d'enracinement**

Les caractéristiques du sol sont un des principaux déterminants de la profondeur d'enracinement des arbres (Herrera et *al.*, 1978 ; Callot et *al.*, 1982 ; Jordan et *al.*, 1985 ; Vitousek et Sanford, 1986 ; Yamada et *al.*, 2005 ; Drénou, 2006). En effet, un sol oxygéné est

favorable à l'enracinement (Drénou, 2006). Par contre l'absence totale d'oxygène dans le milieu ne provoque pas forcément l'arrêt de croissance des racines (Callot et al. Citant Perigaud, 1997). La teneur en certains éléments minéraux aurait un effet positif (calcium et phosphore) ou un effet négatif (aluminium) sur l'enracinement des arbres (Drénou, 2006). La structure grumeleuse est sans aucun doute la plus favorable à l'enracinement des arbres, contrairement à la présence d'obstacles dans le sol tels que des nappes perchées, des éléments grossiers, ou encore la présence d'horizons gravillonnaires (Callot et al., 1982 ; Drénou, 2006).

Le climat, en particulier les précipitations annuelles et la longueur de la saison sèche, déterminent également la profondeur d'enracinement des arbres (Kleidon et Heimann, 1998 ; Ichii, 2007). Le profil racinaire est généralement plus profond dans les écosystèmes limités par l'eau (Schenk et Jackson, 2002 ; Ichii et al., 2007). Paradoxalement, les travaux de Canadell et al. (1996) reportent une profondeur d'enracinement des arbres supérieure dans les forêts sempervirentes plus humides ( $730 \pm 280$  cm, max = 1800 cm) que dans les forêts semi-décidues plus sèches ( $370 \pm 50$  cm, max = 480 cm).

La profondeur d'enracinement dépend également des caractéristiques de l'arbre (Ferry et al., 2001 ; Yamada et al., 2005 ; Christina et al., 2011). Les différences entre individus sont liées à l'identité des espèces et au stade de développement. L'enracinement des grands arbres de la canopée est généralement peu profond que celui des arbres du sous-bois (Sternberg et al., 1998). Les travaux de Ferry et al. (2001) en Guyane Française montrent que pour un type de sol donné, *Eperua facalta* a toujours un enracinement plus profond que *Dicorynia guianensis*. Ces différences s'expliquent par des comportements physiologiques différents lors d'un stress hydrique (Bonal et al., 2000). Selon Drénou (2006), la profondeur maximale d'un système racinaire est atteinte très tôt au cours du développement d'un arbre. Chez le Douglas vert par exemple, le pivot a atteint 50% de sa longueur en 3 à 4 ans, et 90 % en 7 à 11 ans (Drénou citant Eis, 1978). Par ailleurs, il a été prouvé que la longueur moyenne des racines était d'environ cinq mètres pour un peuplement d'un an et que certaines racines peuvent atteindre 12 m en 6 ans (Bouillet et al. citant Hamel, 1992).

#### **I.4. Objectifs de l'étude**

Dans cette étude, nous avons étudié les variations de l'enracinement des arbres en fonction de deux types de sols dans les forêts tropicales d'Afrique Centrale. Les deux sites d'étude sont situés en République centrafricaine (RCA) sur des substrats géologiques contrastés. Le site de M'baïki est caractérisé par des sols sablo-argileux sur grès-quartzite où

coexistent des espèces décidues et sempervirentes au sein d'une forêt de type « semi-décidue ». Le site de Ngotto est caractérisé par des sols sableux sur grès de Carnot où dominant des espèces sempervirentes au sein d'une forêt de type « sempervirente » (Boulvert, 1986). Nous avons adopté une approche phytomètre pour identifier les variations de l'enracinement des arbres de forêt tropicale en fonction du type de sol. Nous avons choisi une espèce commune aux deux sites, le sapelli, *Entandrophragma cylindricum* Sprague (Meliaceae). Il existe que très peu d'études sur la distribution verticale des racines dans les forêts tropicales humides. Selon la revue de Schenk et Jackson (2002), seulement trois études ont exploré la profondeur d'enracinement des arbres de la forêt tropicale sempervirente au-delà de 300 cm de profondeur (Cerri et Volkoff, 1987 ; Nepstad et *al.*, 1994 ; Sternberg et *al.*, 1998). Toutes ces études ont été réalisées dans les forêts sempervirentes d'Amazonie, aucune étude n'a encore jamais été réalisée dans le bassin du Congo. Nous avons émis l'hypothèse que l'enracinement des arbres de forêts tropicales humides diffère en fonction du type de sol. Plus particulièrement nous testons l'hypothèse que sur les sols sableux plus drainants à Ngotto, l'enracinement des arbres est plus profond que sur les sols sablo-argileux de M'baïki où l'eau est plus disponible. L'objectif de cette étude d'étudier la profondeur d'enracinement d'une communauté d'arbres de forêts semi-décidues (M'baïki) et de forêts sempervirentes (Ngotto) en RCA.

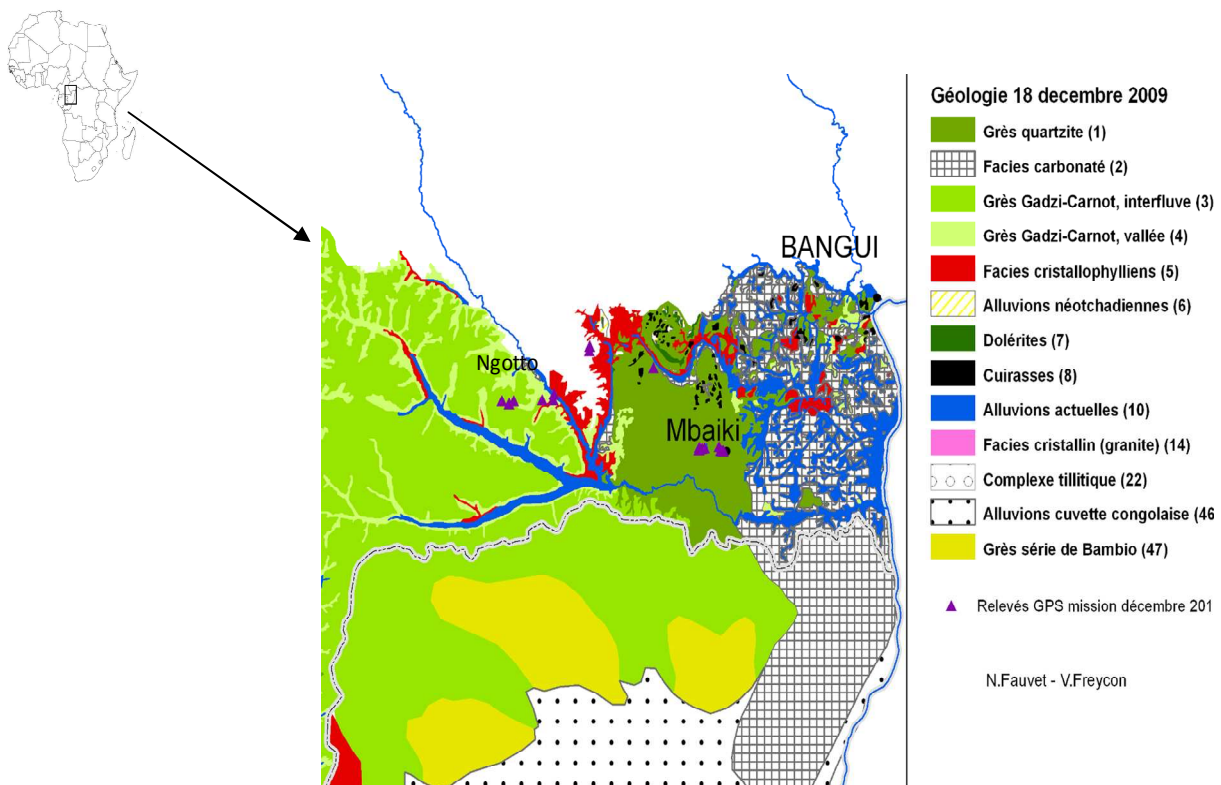


## II. Matériels et méthodes

### II.1. Description des sites d'étude

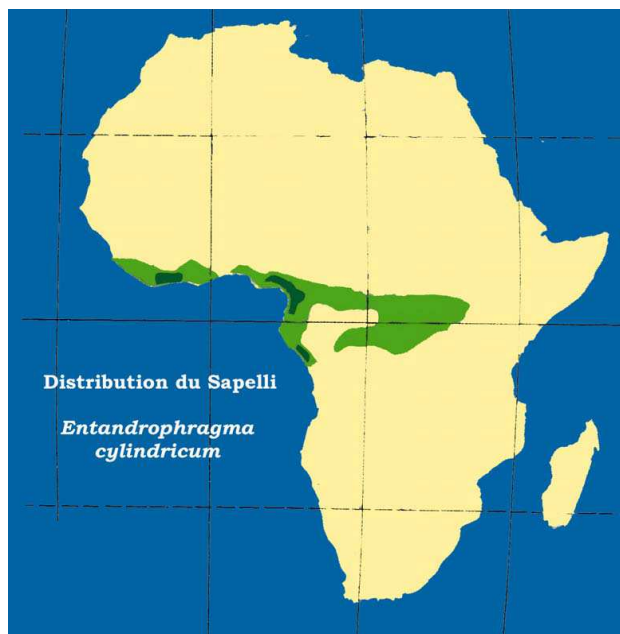
Les deux sites d'études sont situés dans la zone forestière du sud-ouest de la RCA, à proximité des villes de M'baïki et de Ngotto. Le couvert végétal forestier appartient au domaine Congo-Guinéen de la forêt dense humide semi-décidue caractérisé par l'abondance des Ulmacées, Sterculiacées, Sapotacées et Méliacées, et la pauvreté en Légumineuses (Boulvert, 1986). En RCA, deux types de forêts réparties en trois zones phytogéographiques sont reconnus par Boulvert (1986). Les forêts situées à proximité de M'baïki appartiennent au district forestier de la Basse Lobaye et celles situées à proximité de Ngotto appartiennent au district forestier de la Mbaéré sur grès de Carnot-Bambio. La forêt sur grès de Carnot est une forêt primaire où les essences caractéristiques des forêts secondaires n'apparaissent pas (*Triplochiton scleroxylon*, *Milicia excelsa*, *Ceiba pentandra*) ou avec une densité plus faible qu'ailleurs (*Terminalia superba*). La forêt sur grès-quartzite à proximité de M'baïki apparaît remaniée, secondarisée. Les espèces caractéristiques des vieilles forêts secondaires (*Triplochiton scleroxylon* et *Entandrophragma cylindricum*) y sont plus fréquentes (Boulvert, 1986). Près de la ville de M'baïki (3.86° N et 18° E), un dispositif expérimental de recherche forestière a été mis en place entre mars 1981 et avril 1982 au sein de deux forêts classées, la forêt de Boukoko et la forêt de La Lolé, à environ 120 km au sud-ouest de Bangui (Bedel et al., 1998). Deux affluents de la Lobaye : la Mbaéré et la Bodingué traversent le village de Ngotto situé sur le 4<sup>e</sup> parallèle, au nord de la frontière avec le Congo. Il est situé à 300 km environ au sud-ouest de Bangui. Les deux sites choisis ont un climat similaire de type guinéen forestier (Boulvert, 1983). Les données du satellite METEOSAT ont estimé que la pluviosité moyenne annuelle était respectivement 1440 mm et 1400 mm à Ngotto et à M'baïki au cours des onze dernières années (2000- 2010). La saison sèche dure en moyenne quatre mois, entre novembre/décembre et février/mars, et la saison des pluies, huit mois, entre mars/avril et octobre/novembre.

Les deux sites se distinguent par leur caractéristique géologique et par la composition floristique. Ces sites présentent des sols contrastés, du fait de la texture du sol et du substrat géologique : sols sablo-argileux sur grès-quartzite à M'baïki et sols sableux sur grès de Carnot à Ngotto (figure 1). La figure 2 représente l'aire de distribution du sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) en Afrique. Les espèces décidues (*Triplochiton scleroxylon*, *Terminalia superba* et *Entandrophragma cylindricum*) dominent à M'baïki alors que les espèces sempervirentes



Source : Freycon, rapport de mission 2010

**Figure 1:** Carte géologique de la zone d'étude



Source : Lourmas, 2005 citant Palla et *al.*, 2002

**Figure 2:** Aire de distribution du sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) en Afrique

(*Pycnanthus angolensis*, *Celtis tessmannii*, *Prioria oxyphylla*) dominant à Ngotto. Nous avons ainsi étudié la profondeur d'enracinement de la communauté d'arbres suivant le type de sols tout en contrôlant la longueur de la saison sèche et la présence d'une espèce commune aux deux sites, le sapelli, *Entandrophragma cylindricum* (Meliaceae)

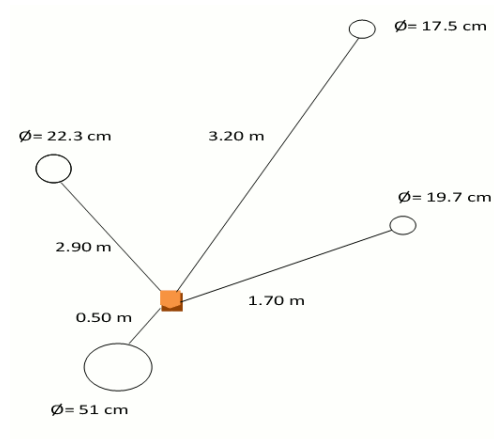
## **II.2. Généralités sur *Entandrophragma cylindricum* Sprague (Meliaceae)**

Pour identifier l'enracinement d'une communauté d'arbres dans les forêts tropicales humides en RCA en fonction du type de sols, nous avons choisi une espèce commune aux deux sites, *Entandrophragma cylindricum* Sprague (Meliaceae) dont le nom commercial est le sapelli. Le sapelli, localement appelé « m'boyoy », est une espèce décidue de basse altitude à feuilles composées pennées très dispersée en forêt dense humide semi-décidue et pouvant atteindre 50 m de hauteur et 280 cm de diamètre. Il fleurit régulièrement chaque année pendant la saison sèche (de janvier à février) et fructifie pendant la saison des pluies, de mai à août. Le fruit est une capsule verte fusiforme à cinq valves contenant trois à cinq graines ailées par loge. C'est une espèce anémochore dont les diaspores sont des planeurs lourds. Son bois est de couleur brun rouge. Le sapelli est une espèce fortement exploitée en RCA, elle représente avec l'Ayous (*Triplochiton schleroxylon*) environ 70% du volume des grumes exportées vers l'Europe et l'Asie du Sud-Est (Etat des Forêts du Bassin du Congo, 2009).

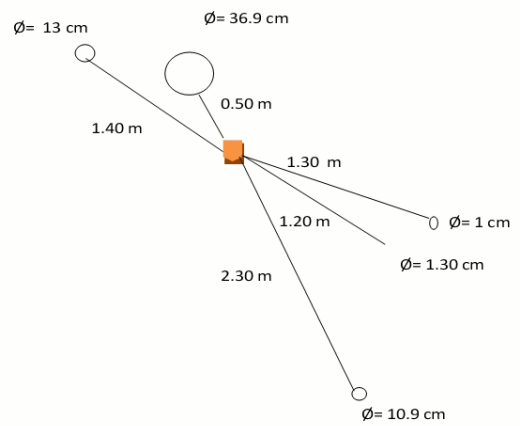
## **II.3. Choix et localisation des fosses**

Nous avons creusé deux fosses par sites. Chacune des fosses était située à 50 cm d'un sapelli, dont le dbh était compris entre 40 à 50 cm. Le dbh était de 48, 42, 41 et 47 cm respectivement pour la fosse 1 de M'baïki (M'baïki\_F1), la fosse 2 de M'baïki (M'baïki\_F2), la fosse 1 de Ngotto (Ngotto\_F1) et la fosse 2 de Ngotto (Ngotto\_F2). Dans chaque site, nous avons choisi les forêts peu dégradées et les jeunes arbres de sapelli les moins proches des arbres à gros dbh tout en étant dans un environnement forestier (figure 3).

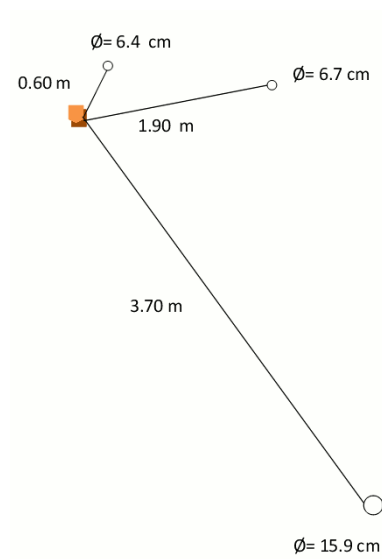
A Ngotto nous ne disposions pas de carte pédologique précise. Etant donnée la faible variabilité des sols (Boulvert, 1983), le choix de l'emplacement des fosses a été guidé par l'ambiance forestière. A M'baïki, le choix des fosses a été fait à l'aide de la carte pédologique à l'échelle 1/2000 réalisée par Freytet (1992) sur le dispositif de recherche forestière. Nous nous sommes placés dans les deux unités de sols principales du dispositif : les sols ferrallitiques faiblement à moyennement désaturés gravillonnaire ou remaniés appelés sols 321



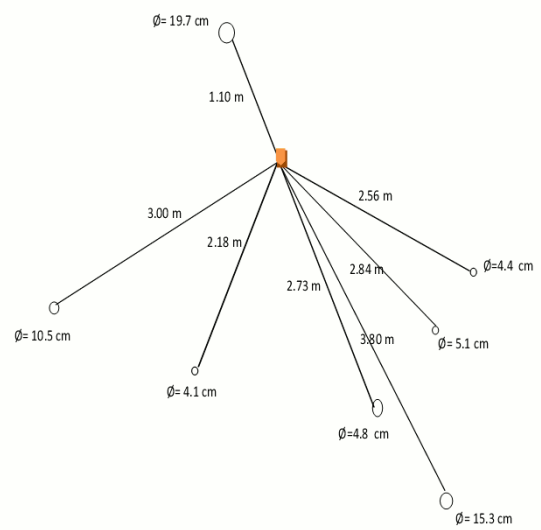
M'baiki\_F1



M'baiki\_F2



Ngotto\_F1



Ngotto\_F2

**Figure 3:** Représentation schématique de l'environnement du sapelli étudié

(18% des surfaces du dispositif), pour M'baïki\_F1 et les sols ferralitiques faiblement à moyennement désaturés typiques modaux ou profonds rouges appelés sols 21 (45%), pour M'baïki\_F2. Les sols 321 et 21 diffèrent par la profondeur d'un horizon gravillonnaire à partir de 120 cm de profondeur (Freytet, 1992). Les deux fosses de M'baïki ont été installées en dehors des parcelles permanentes du dispositif, dans la zone tampon. Les coordonnées GPS des quatre fosses ont été relevées (tableau 1). Sur le site de M'baïki, nous avons pu ouvrir des fosses de 150 cm de large et 600 cm de profondeur, alors qu'à Ngotto, nous nous sommes limité à 300 cm de profondeur, pour des raisons techniques et de sécurité liées l'effondrement des parois des fosses après la pluie.

#### **II.4. Distribution des racines**

Nous avons effectué deux types d'observations des racines dans les fosses. Nous avons observé la distribution spatiale des racines sur toute la profondeur du profil et nous avons décrit les caractéristiques géologiques de chaque profil.

Pour décrire la distribution spatiale des racines, nous avons utilisé une grille de 100×150 cm quadrillée tous les 10 cm. L'inventaire des impacts racinaires a été fait au fur et à mesure de l'ouverture des fosses. Une fois la grille placée sur le profil, nous avons compté, positionné et mesuré tous les impacts racinaires dans chaque carré de la grille de lecture. Les coordonnées ont été relevées à l'aide d'une règle et le diamètre mesuré au pied à coulisse. Nous avons considéré les racines avec un diamètre < 1 mm comme des racines fines, celles dont le diamètre est compris entre 1-10 mm comme des racines moyennes et celles avec un diamètre > 10 mm comme des grosses racines (Laclau et *al.*, 2001). A Ngotto nous avons rencontré des difficultés pour compter les racines dans les dix premiers centimètres à cause de la présence d'un mat racinaire entre 3 et 8,5 cm d'épaisseur, constitués de racines fines enchevêtrées. Nous avons seulement compté les racines présentes sous le mat racinaire. Pour corriger cette sous-estimation du nombre de racines dans l'horizon [0-10 cm], nous proposons d'estimer le nombre total de racines que l'on aurait trouvé s'il n'y avait pas eu de mat racinaire en appliquant une règle de trois (tableaux 2 et 3). Par exemple, si 38 racines ont été observées dans le carré A1 (10×10 cm) sous un mat racinaire de 3 cm, alors nous estimons le nombre de racines du carré A1 égal à  $38 \times 10 / (10 - 3) = 54$  racines.

Nous avons découpé et décrit chaque fosse en plusieurs horizons d'après les principales caractéristiques du sol observées sur le terrain (couleur, texture, structure, éléments grossiers,

racines) (figure 4.a et 4.b). Nous avons aussi conservé quelques échantillons des roches qui ont été trouvées dans les fosses de M'baïki. Ces échantillons ont été présentés à deux

**Tableau 1:** Coordonnées GPS des fosses étudiées à M'baïki et à Ngotto

Référentiel : WGS84 Projection : UTM 33N

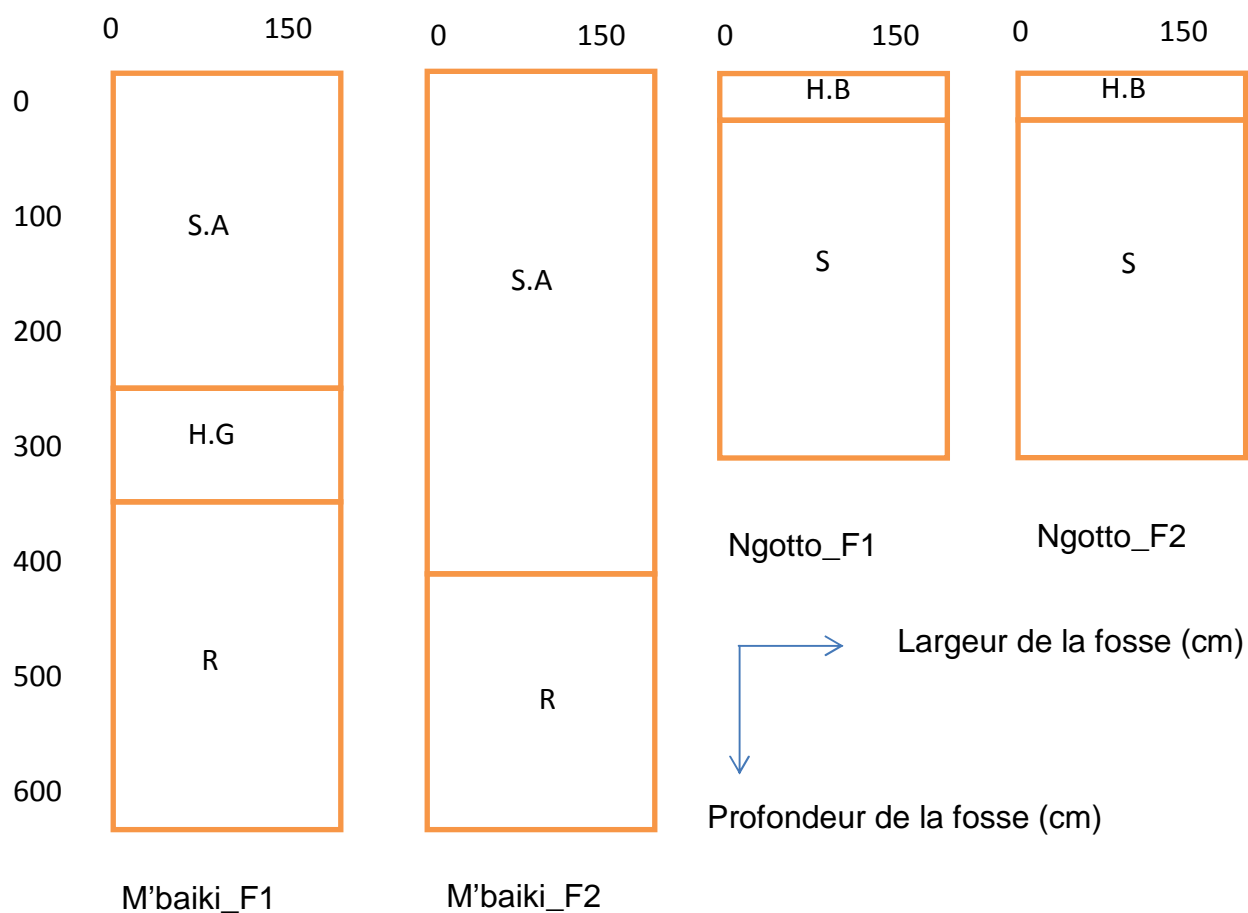
Coordonnées GPS	X	Y
M'baïki_F1	822730 m E	429130 m N
M'baïki_F2	822500 m E	430030 m N
Ngotto_F1	741150 m E	444760 m N
Ngotto_F2	Non connue (GPS en panne)	

**Tableau 2:** Ngotto-F1, Estimation du nombre de racines entre 0 et 10 cm de profondeur

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	Total
Epaisseur (cm) mat racinaire	3	5	4	2,7	6,3	7	4,5	4	4	7,5	4	8	4	6,5	8	
Nombre de racines comptées sous mat racinaire	38	27	17	28	14	10	13	16	13	9	23	10	15	6	5	244
Nombre de racines estimées sur [0-10cm]	54	54	28	38	38	33	24	27	22	36	38	50	25	17	25	509

**Tableau 3:**Ngotto\_F2, Estimation du nombre de racines entre 0 et 10 cm de profondeur

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	Total
Epaisseur (cm) mat racinaire	4	5.5	2	1	2.5	2.6	2.5	8.5	3.5	3.5	4	4	4	3	4.5	
Nombre de racines comptées sous mat racinaire	17	10	15	23	15	9	17	15	11	6	11	10	14	13	9	195
Nombre de racines estimées sur [0-10cm]	28	18	19	26	20	12	23	100	17	9	18	17	23	19	16	365



**Figure 4:** Profil de sols sableux de Ngotto et des sols sablo-argileux de M'baiki : présence de roches ± altérées (R), d'horizon gravillonnaire (H.G), d'horizon brun (H.B) et d'horizon ferralique sans éléments grossiers (S.A et S)



géologues de l'Université de Bangui (Hubert Mapoka et David-Christian Vonto) pour détermination (annexe 1). Parallèlement, un volume donné de sol ( $803,84 \text{ cm}^3$ ) été prélevé sur chaque horizon à Ngotto\_F2 pour une analyse pédologique ultérieure (annexe 2). Afin d'estimer le front racinaire (c'est-à-dire la profondeur limite d'observation des racines), nous avons réalisé des sondages supplémentaires à l'aide d'une tarière pédologique de 2 m de long dans une fosse par site (M'baïki\_F2 et Ngotto\_F2). Nous avons exploré la présence de racines jusqu'à 800 cm de profondeur à M'baïki et 520 cm à Ngotto. Nous avons fait trois échantillonnages par sites. Nous avons prélevé pour chaque sondage tarière des échantillons de sols, aux profondeurs suivantes : 300-320, 330-350, 380-400, 400-420, 430-450, 480-500, 500-520 cm à Ngotto ; et 600-620, 630-650, 680-700, 700-720, 730-750, 780-800 cm à M'baïki (annexe 3).

## **II.5. Analyses des données**

Le tableau de données brutes récapitulant le nombre d'impacts racinaires par taille des racines (racines totales, fines, moyennes et grosses) et par tranche de 10 cm de profondeur est présenté en annexe (annexe 4). Nous avons utilisé le test de Welch (prenant en compte l'inégalité des variances et le faible effectif) pour identifier des différences significatives de quantité totale de racines et de fréquence relative des racines. Ce test a été réalisé dans les quatre fosses entre 0 et 300 cm de profondeur (soit 0-50 cm, 50-200 cm, 200-300 cm et 0-300 cm). Finalement, nous avons réalisé la cartographie des profils racinaires pour l'ensemble des racines et par classe de diamètre à l'aide du logiciel R. Nous avons réalisé des tests du chi-deux sur les profils de répartition relative des racines fines dans les quatre fosses.

### **III. Résultats**

#### **III.1. Distribution verticale des racines**

##### **III.1.1. Distribution verticale de toutes les racines**

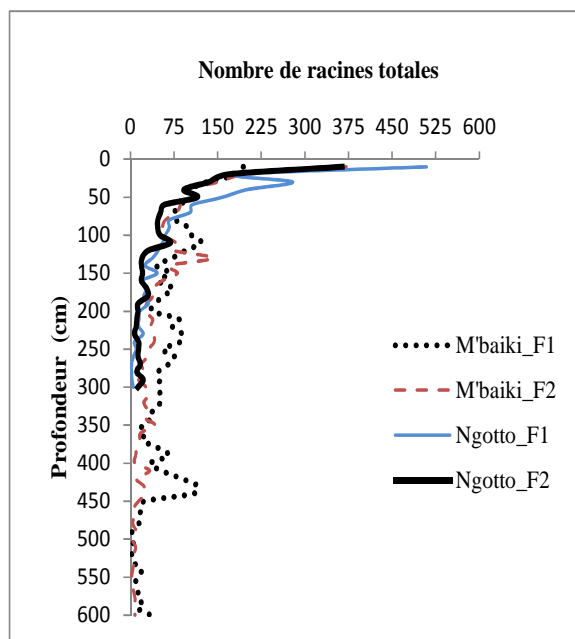
Nous avons pu observer la distribution verticale des racines jusqu'à 600 et 300 cm de profondeur respectivement à M'baïki et à Ngotto (figure 5.a), et la présence de racine jusqu'au moins 800 cm à M'baïki et 520 cm à Ngotto (figure 6 et annexe 3). Le front racinaire n'ayant pas pu être atteint dans les deux sites, nous ne pouvons pas confirmer la profondeur d'enracinement maximal du sapelli. La figure 6 récapitule les profils racinaires dans les deux sites suivant la taille des racines.

##### **III.1.2. Distribution verticale des racines fines**

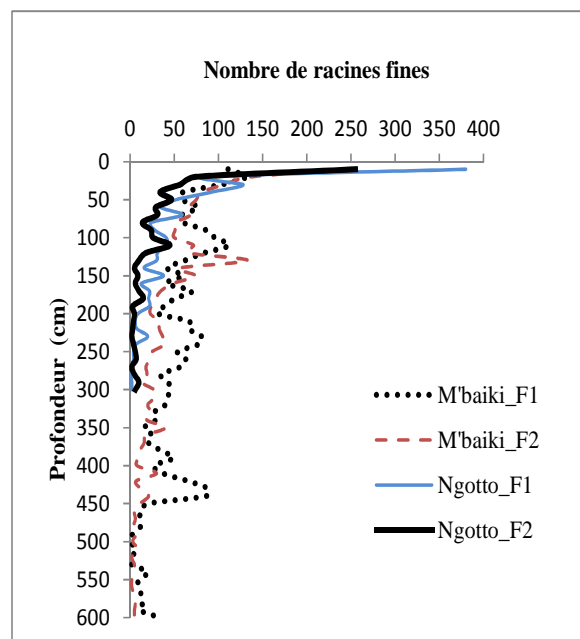
Nous avons observé une diminution du nombre de racines fines avec la profondeur dans chaque profil. Celle-ci est plus marquée dans les profils de Ngotto que dans ceux de M'baïki (figure 5.b). A M'baïki\_F1, la distribution verticale des racines fines semblent être plus équilibrée de la surface jusqu'à la profondeur de 450 cm. Entre 0 et 300 cm de profondeur : nous avons plus de racines fines dans les 10 premiers cm dans les profils de Ngotto et dans ceux de M'baïki entre 75 et 300 cm de profondeur. Le nombre de ces racines est plus élevé à partir de 200 cm de profondeur à M'baïki\_F1. Au-delà de 300 cm de profondeur, nous avons plus de racines fines à M'baïki\_F1 qu'à M'baïki\_F2.

##### **III.1.3. Distribution verticale des racines moyennes**

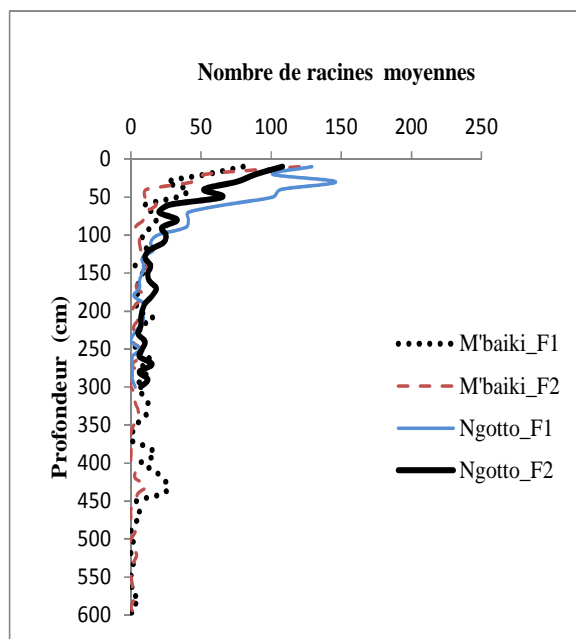
Nous avons observé une diminution bien marquée du nombre de racines moyennes avec la profondeur dans chaque profil (figure 5.c). Entre 0 et 300 cm de profondeur : nous avons plus de racines moyennes dans les profils de Ngotto et une distribution verticale des racines moyennes quasi similaire entre sites. Entre 300 et 450 cm de profondeur, on a plus de racines



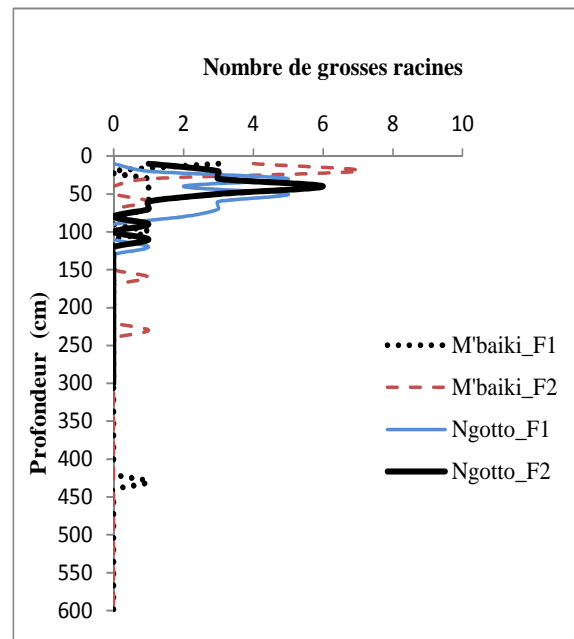
a)



b)

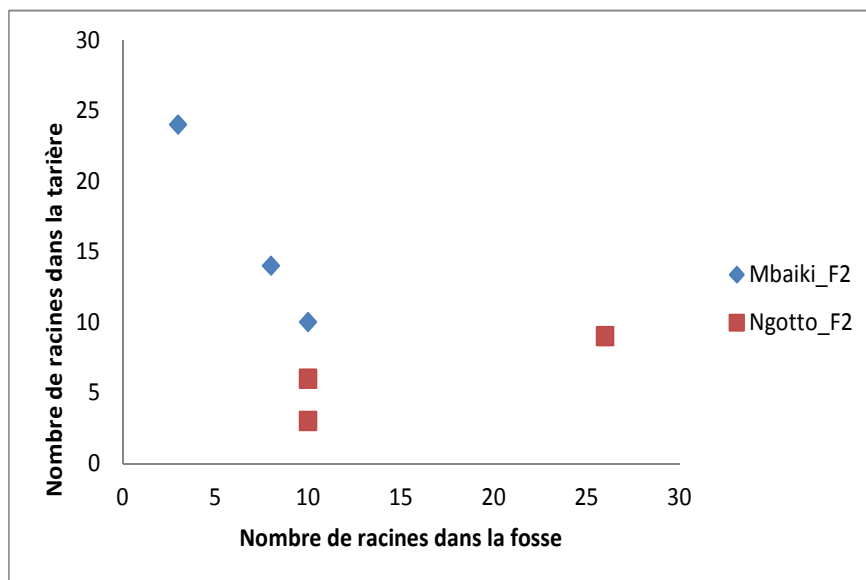


c)

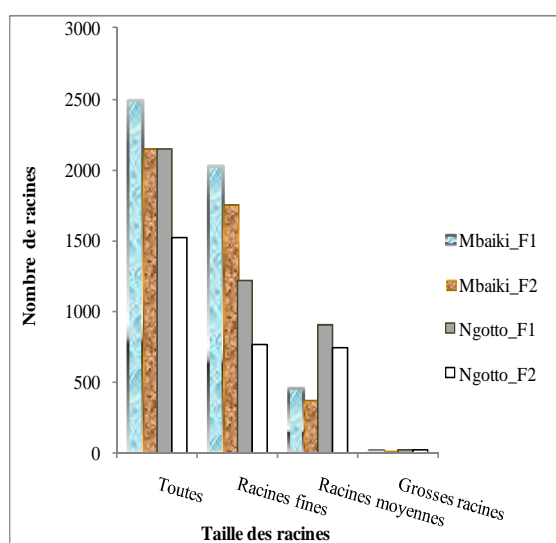


d)

**Figure 5:** Distribution verticale des racines dans les quatre fosses suivant la profondeur (0-600 cm à M'baïki et 0-300 cm à Ngotto) et la taille des racines : a) racines totales b) racines fines, c) racines moyennes et d) grosses racines



**Figure 6:** Relation impact racinaire de la fosse et sondages tarières, recherche du front racinaire dans les deux sites : comparaison du nombre de racines comptés dans les deux cas à 20 cm de profondeur. Fosse : 280-300 cm et 580-600 cm de profondeur respectivement à Ngotto et à M'baïki.



**Figure 7:** Comparaison du nombre de racines suivant leur taille et par sites de 0-300cm de profondeur : 2487, 2156, 2150 et 1522 racines observées respectivement à M'baïki\_F1, M'baïki\_F2, Ngotto\_F1 et Ngotto\_F2

moyennes à M'baïki\_F1 mais au-delà de cette profondeur les deux profils de M'baïki sont presque identiques.

#### **III.1.4. Distribution verticale des grosses racines**

En général, les quatre profils ont une distribution verticale des grosses racines quasi similaire entre 0 et 100 cm de profondeur où le nombre de grosses racines est le plus élevé (figure 5.d). Nous avons pu observer une diminution marquée du nombre de grosses racines avec la profondeur dans chaque profil. Elles sont quasi absentes dans les profils de Ngotto au-delà de 130 cm de profondeur et présentes ponctuellement dans les profils de M'baïki (150-250 cm à M'baïki\_F2 et 400-450cm à M'baïki\_F1).

#### **III.2. Quantité totale de racines**

Entre 0 et 300 cm de profondeur, nous avons observé plus de racines à M'baïki qu'à Ngotto, soient 2487, 2156, 2150 et 1522 respectivement à M'baïki\_F1, M'baïki\_F2, Ngotto\_F1 et Ngotto\_F2 (figure 7). Le test de Welch a cependant prouvé que la quantité totale des racines n'était pas significativement différente entre les deux sites (Tableau 4). Il y a significativement plus de racines fines et moins de racines moyennes entre 50 et 200 cm de profondeur à M'baïki qu'à Ngotto (1820 et 680 racines fines, 241 et 557 racines moyennes, respectivement dans les deux sites).

#### **III.3. Distribution spatiale des racines**

##### **III.3.1. Distribution spatiale de toutes les racines**

La distribution spatiale de toutes les racines a été observée respectivement jusqu'à 600 cm et 300 cm de profondeur à M'baïki et à Ngotto (figures 8.a et 8.b). Nous avons observé une distribution des racines quasi similaire dans les deux fosses de Ngotto contrairement à l'hétérogénéité des deux fosses de M'baïki. Entre 0 à 100 cm de profondeur, la distribution spatiale des racines est homogène dans les quatre fosses. Au-delà de 100 cm de profondeur, on observe une distribution hétérogène des racines dans chaque fosse suivant les profondeurs. La distribution des racines est plus homogène dans la fosse M'baïki\_F1 que dans celle de M'baïki\_F2.

**Tableau 4:** Comparaison du nombre de racines entre les fosses de M'baïki et celles de Ngotto, par classe de taille, avec la profondeur. NS : pas de différence significative pour un risque de  $\alpha=0.05$  ( $p\text{-value}>0.05$ ) ; \* : différence significative ( $0.01\leq p\text{-value}\leq 0.05$ )

Taille des racines	Classe de profondeur (cm) de la fosse	Nombre de racines				Tests statistiques utilisés
		M'baïki_F1	M'baïki_F2	Ngotto_F1	Ngotto_F2	Test de Welch (t)
Totale des racines	0-50	705	896	1333	872	t = -1.21 (NS)
	50-200	1105	962	732	518	t = 3.17 (NS)
	200-300	677	298	85	132	t = 1.98 (NS)
	0-300	2487	2156	2150	1522	t = 1.37 (NS)
Racines fines	0-50	465	646	736	467	t = -0.28 (NS)
	50-200	971	849	430	250	t = 5.24*
	200-300	590	267	55	49	t = 2.33 (NS)
	0-300	2026	1762	1221	766	t = 3.42 (NS)
Racines moyennes	0-50	234	238	584	389	t = -2.57 (NS)
	50-200	131	110	293	264	t = -8.83*
	200-300	87	30	30	83	t = 0.05 (NS)
	0-300	452	378	907	736	t = -4.36 (NS)
Grosses racines	0-50	6	12	13	16	t = -1.64 (NS)
	50-200	3	3	9	4	t = -2.3 (NS)
	200-300	0	1	0	0	
	0-300	9	16	22	20	t = -2.34 (NS)

### **III.3.2. Distribution spatiale des racines fines**

Nous avons observé une distribution des racines fines quasi similaire à celles de toutes les racines pour les fosses de M'baïki. Nous avons remarqué une diminution significative de la densité des racines fines avec la profondeur dans toutes les fosses à l'exception de M'baïki\_F1 (figures 8.a et 8.b). Au-delà de 200 cm de profondeur, la densité de racines fines est plus abondante et la distribution est assez homogène à M'baïki\_F1.

### **III.3.3. Distribution spatiale des racines moyennes**

Une diminution significative de la densité des racines moyennes avec la profondeur a été observée dans les quatre fosses. Celle-ci est particulièrement bien marquée à Ngotto. Suivant leur profondeur, la distribution des racines moyennes est plus homogène à Ngotto qu'à M'baïki (figures 8.a et 8.b). Nous avons également observé une densité de racines moyennes plus abondante entre 0 et 50 cm de profondeur à Ngotto qu'à M'baïki où la distribution est hétérogène sur tout le profil.

### **III.3.4. Distribution spatiale des grosses racines**

Suivant leur profondeur, la distribution des grosses racines est hétérogène dans toutes les fosses (figures 8.a et 8.b). Nous avons observé une densité de racines plus abondante à Ngotto qu'à M'baïki entre 0 et 50 cm de profondeur.

## **III.4. Répartition relative des racines par profondeur**

La répartition relative des racines a été comparée jusqu'à 300 cm de profondeur suivant la taille des racines (fines, moyennes, grosses) (Tableau 5).

Nous avons réalisé des tests du  $\chi^2$  sur les profils de répartition des racines fines et moyennes dans les quatre fosses (cf. données de comptage du Tableau 4). Les profils diffèrent très significativement dans les deux cas (racines fines :  $\chi^2=767,8$ , ddl=6, p-value < 2.2e-16, racines moyennes :  $\chi^2=106,8$ , ddl=6, p-value < 2.2e-16).

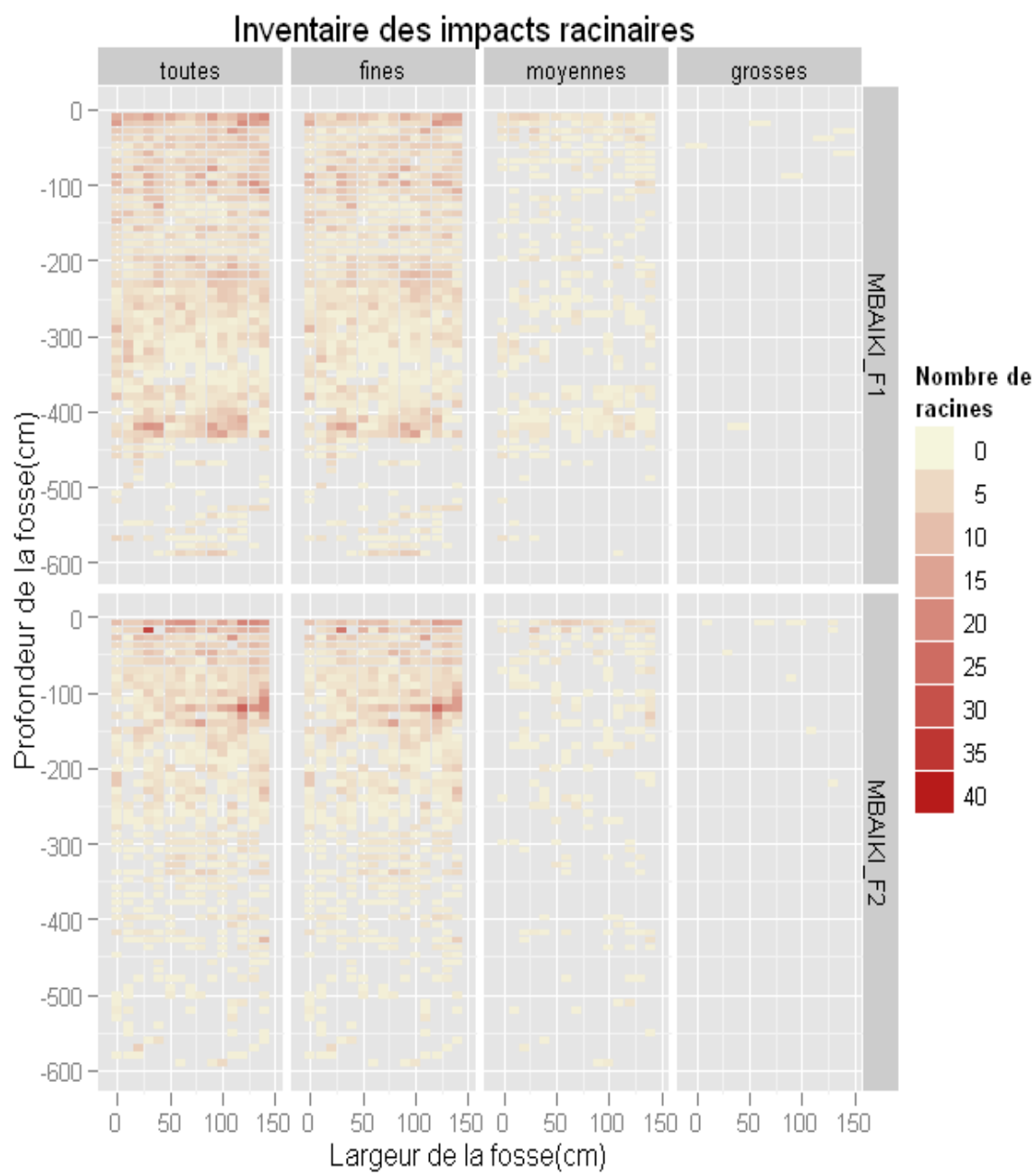
En ce qui concerne les racines fines, les principales contributions au  $\chi^2$  viennent des profils M'baïki\_F1 et de Ngotto\_F1 : la fosse 1 de M'baïki présente, par rapport au profil moyen, un déficit relatif très net en surface (0-50 cm) et un excès encore plus net en profondeur (200-300 cm). Au contraire, la fosse 1 de Ngotto (et dans une moindre mesure la fosse 2) présentent un excès relatif de racines en surface et un déficit en profondeur (Tableau 6).

En ce qui concerne les racines moyennes, les principales contributions au  $\chi^2$  viennent des mêmes profils, et sont dues à un excès relatif (resp. un déficit relatif) en profondeur dans les fosses 1 de M'baïki et de Ngotto (

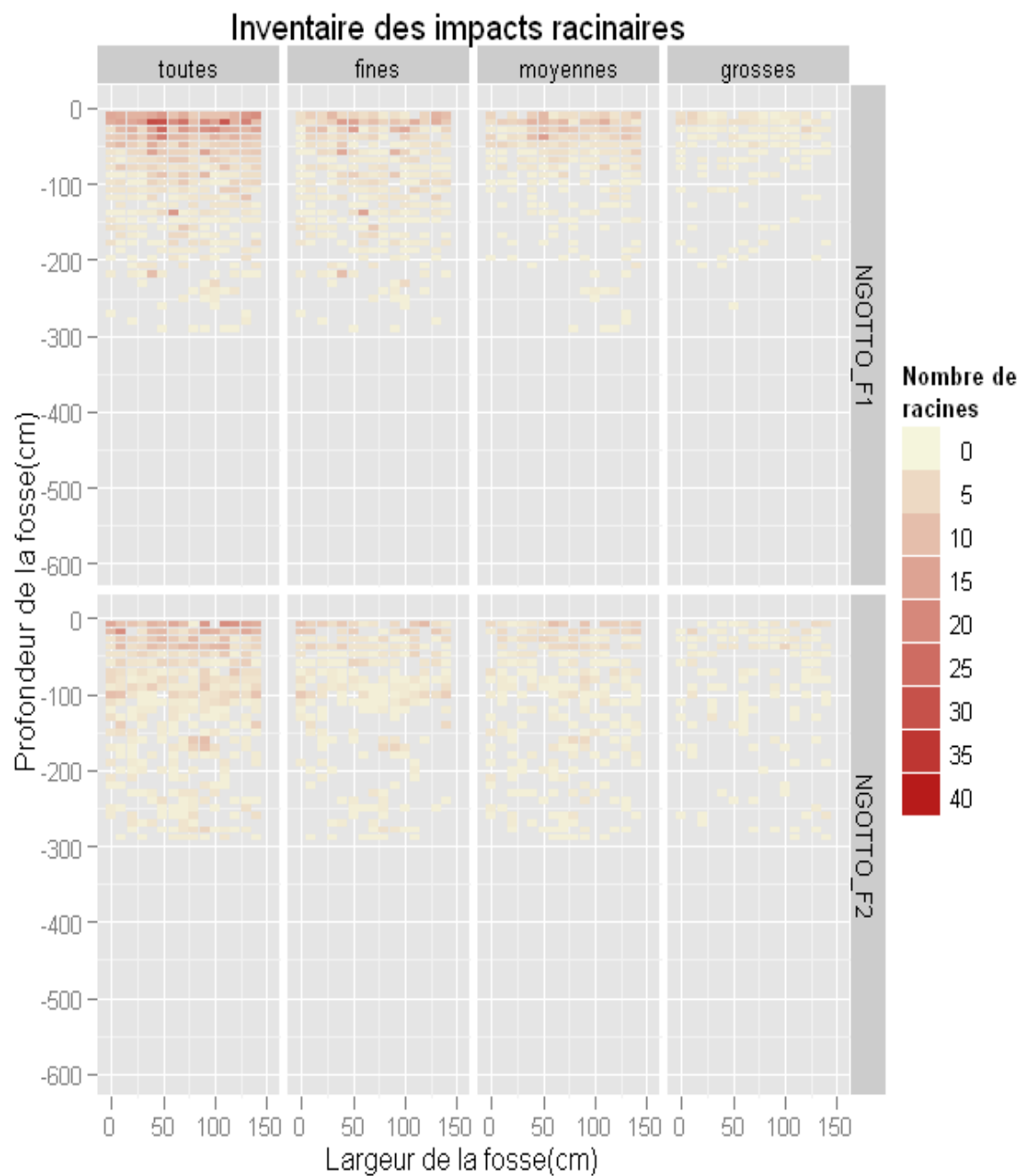
Les grosses racines sont quasi absentes entre 200 et 300 cm de profondeur dans toutes les fosses sauf dans M'baïki\_F2 (soit 3 % en moyenne à M'baïki). Contrairement à la répartition des autres racines, la fréquence relative des grosses racines diminuent avec la profondeur de la même façon dans les deux sites (Tableau 5).

Ces résultats traduisent une répartition plus équilibrée des racines fines sur l'ensemble des profils (0-300 cm) de M'baïki, par rapport à ce qui est observé à Ngotto, où la fréquence relative de ces racines diminue nettement avec la profondeur. Le phénomène est moins marqué pour les racines moyennes, avec une forte hétérogénéité intra site (les fosses 2 de M'baïki et de Ngotto diffèrent peu dans leur profil de répartition).





**Figure 8.a:** Distribution spatiale des racines à M'baïki



**Figure 8.b:** Distribution spatiale des racines à Ngotto

**Tableau 5:** Comparaison de la fréquence relative des racines (%) entre les fosses de M'baïki et celles de Ngotto par classe de profondeur, en fonction de la taille des racines.

Taille des racines	Classe de profondeur (cm) de la fosse	Fréquence relatives des racines			
		M'baïki_F1	M'baïki_F2	Ngotto_F1	Ngotto_F2
Racines fines	0-50	23 %	37 %	60 %	61 %
	50-200	48 %	48 %	35 %	33 %
	200-300	29 %	15 %	5 %	6 %
Racines moyennes	0-50	52 %	63 %	64 %	53 %
	50-200	29 %	29 %	32 %	36 %
	200-300	19 %	8 %	4 %	11 %
Grosses racines	0-50	67 %	75 %	59 %	80 %
	50-200	33 %	19 %	41 %	20 %
	200-300	0 %	6 %	0 %	0 %

**Tableau 6 :** Test de chi-deux réalisé en comparant les profils deux à deux. NS : pas de différence significative pour un risque de  $\alpha=0.008$  (p-value>0.008) ; \* : différence significative ( $0.01 \leq p\text{-value} \leq 0.008$ ) ; \*\* : différence significative (p-value<0.008)

Le profil M'baiki\_F1 est le plus éloigné du profil moyen, c'est lui qui fabrique le chi-deux. Il présente un déficit relatif très net en surface et un excès relatif encore plus net en profondeur Ngotto\_F1 (2ème plus contributeur), suivi de Ngotto\_F2.

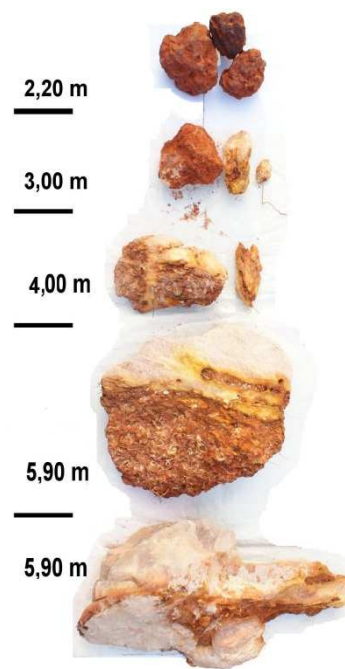
	M'baiki_F1	M'baiki_F2	Ngotto_F1	Ngotto_F2
M'baiki_F1		141,69**	547,91**	200,58**
M'baiki_F2			190,86**	134,06**
Ngotto_F1				4,17 (NS)
Ngotto_F2				

### **III.5. Caractéristiques géologiques**

Aucune roche n'a été observée dans les fosses situées sur les sols sableux de Ngotto. Dans les deux fosses de M'baïki nous avons observé des roches de différentes couleurs mais de même origine. D'origine sédimentaire, ces roches ont subi des altérations à des niveaux différents dans le temps. La teneur en silice varie en fonction du taux d'oxydation de fer. Les roches prélevées dans la fosse 1 apparaissent plus friables (taux d'oxydation de fer plus élevé) ; et donc plus favorables à la prospection racinaire que celles de la fosse 2. En effet, nous avons pu observer un grand nombre de racines fines et moyennes dans les échantillons prélevés dans la fosse 1 de M'baïki (photo 1).



a)



b)



c)



**Photo 1 :** Roche prospectée par les racines fines à 590 cm de profondeur à M'baïki\_F1 (a) ; Echantillons de roches prélevées avec la profondeur à M'baïki\_F1 (b) et à M'baïki\_F2 (c).

## **IV. Discussion**

### **IV.1. Profondeur d'enracinement des arbres en forêt tropicale**

Nous avons émis l'hypothèse selon laquelle la profondeur d'enracinement de la communauté d'arbres diffère en fonction du type de sol, et que l'enracinement des arbres en forêts tropicales humides est plus profond sur les sols sableux de Ngotto que sur les sols sablo-argileux de M'baïki. Nous n'avons pas pu infirmer ou confirmer directement cette hypothèse du fait de problèmes techniques et de sécurité rencontrés sur le terrain. Nous avons pu observer la présence de racines jusqu'à 800 cm de profondeur dans la forêt semi-décidue de M'baïki et jusqu'à 520 cm de profondeur dans la forêt sempervirente de Ngotto. Les travaux de Nepstad et al., 1994 ont montré une profondeur d'enracinement maximale des arbres de 480 cm dans les forêts semi-décidues du Brésil. Nous avons cependant observé des racines à plus de 500 cm de profondeur dans les deux sites étudiés. Il a été prouvé que dans les milieux tropicaux, le profil racinaire devient généralement plus profond dans les zones faiblement arrosées et où la saison sèche est marquée (Schenk et Jackson, 2002, Ichii et al., 2007). Les travaux de Ichii et al., 2007 ont prouvé plus précisément que la profondeur d'enracinement des arbres dépend étroitement de la précipitation et de la longueur de la saison sèche. Elle est aussi importante pour simuler la saisonnalité de la production primaire dans les forêts tropicales. Ainsi pour les régions à longueur de saison sèche comprise entre 3 à 4 mois (dont le pic de précipitation se situe le plus souvent entre mars et mai), les racines peuvent atteindre 300 à 500 cm de profondeur. Nos résultats infirment ceux de Ichii et al. car que les racines atteignent régulièrement des profondeurs supérieures à 500 cm dans les forêts centrafricaines relativement sèches où la saison sèche est très marquée (3 à 4 mois). En effet en conditions hydriques limitantes elles pourraient descendre plus profondément (Drénou, 2006).

### **IV.2. Des différences entre types de sol : le rôle de la fertilité ?**

Malgré un faible effort d'échantillonnage (nombre et profondeur des fosses), nous avons pu identifier des différences significatives d'enracinement entre les deux types de sol. Ces résultats sont très originaux car aucune étude n'a encore jamais été réalisée sur ce sujet en forêt naturelle dans le bassin du Congo (Schenk et Jackson., 2002). Plus particulièrement, nous avons pu montrer que sur les sols sablo-argileux de M'baïki, le nombre total de racines était plus important et que la répartition relative des racines était relativement équitable sur

l'ensemble du profil. Sur les sols sableux de Ngotto, le nombre total de racines est moindre et les racines sont essentiellement concentrées dans les 50 premiers centimètres du sol (figure 8.b ; tableaux 4 et 5). A Ngotto, nous avons également pu observer la présence d'un mat racinaire, entre 0 et 10 cm de profondeur, qui est constitué essentiellement de racines fines enchevêtrées. Nos résultats sur les sols sableux de Ngotto sont en accord avec ceux de Laclau et al. (2001). Ces auteurs ont également montré sur les sols sableux de Pointe Noire au Congo, une nette diminution du nombre de racines fines d'Eucalyptus avec la profondeur et une densité racinaire plus élevée en surface (5-10 cm de profondeur). Les différences d'enracinement observées entre les sols sablo-argileux de M'baïki et les sols sableux de Ngotto suggèrent une différence de fertilité des sols. En effet, les sols sablo-argileux de M'baïki, relativement fertiles pour des sols tropicaux, permettraient un enracinement des arbres plus profond et plus homogène, alors que les sols sableux de Ngotto, moins fertiles, favoriseraient un enracinement des arbres peu profond et une prospection des racines fines plus importantes en surface, et ce, afin d'assimiler directement les éléments issus de la minéralisation de la matière organique. En effet, le recyclage « direct » des nutriments à partir de la matière organique joue un rôle majeur en milieu tropical où les sols sont généralement pauvres en nutriments (Jordan et al., 1985, Herrera et al., 1978). Dans cette étude, nous interprétons la variation des profils racinaires entre types de sols, comme un indicateur du mode de recyclage des nutriments et de la fertilité du milieu. La présence de mat racinaire, également associée aux milieux infertiles (Coomes et Grubb 1996, Laclau et al., 2001), est un argument supplémentaire envers l'hypothèse de différence de fertilité chimiques des sols. Par ailleurs, dans les milieux infertiles, l'investissement dans l'acquisition des nutriments présente un avantage pour la croissance et la reproduction (Bloom et al., 1985) et plusieurs études ont montré que l'allocation de la biomasse aux racines (ratio entre la biomasse racinaire et la biomasse aérienne et/ou la biomasse racinaires) décroît avec la fertilité des sols tropicaux (Bongers et al., 1985; Espeleta et Clark, 2007). Dans cette étude, nous avons pu montrer que le nombre de racines était plus important sur les sols supposés plus riches de M'baïki, que sur les sols supposés plus pauvres de Ngotto (figures 5 et 8, tableaux 4 et 5). Si on fait l'hypothèse d'une relation entre le nombre de racines et la biomasse racinaire, ce résultat est encore un argument de plus vers une différence de fertilité chimiques des sols. Par ailleurs, Gourlet-Fleury et al., 2010 ont montré que les biomasses aériennes ligneuses sont similaires entre les forêts sur sols sableux et les forêts sur sols argileux (250-270 t.ha<sup>-1</sup> pour des arbres  $\geq 20$  cm dbh). Des travaux complémentaires sur les patrons d'allocation entre parties aériennes et souterraines (ratio entre biomasse aérienne et racinaire) sont donc à envisager comme

perspectives à ce travail afin de confirmer le rôle de la fertilité des sols pour expliquer les variations de la distribution des espèces d'arbres et de la composition des communautés en République centrafricaine.

## V. Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'étudier les variations de l'enracinement des arbres en fonction du type de sol dans les forêts tropicales de République centrafricaine. Les deux sites d'étude ont un climat similaire mais sont situés sur des substrats géologiques contrastés. Le site de M'baïki est caractérisé par des sols sablo-argileux sur grès-quartzite. Le site de Ngotto est caractérisé par des sols sableux sur grès de Carnot. Pour tester l'hypothèse selon laquelle les sols sableux plus drainants favoriseraient un enracinement des arbres plus profond que les sols sablo-argileux, nous avons choisi une espèce commune aux deux sites, le sapelli, *Entandrophragma cylindricum* Sprague (Meliaceae). Nous avons pu observer que les racines des arbres atteignent régulièrement des profondeurs supérieures à 500 cm, et qu'à partir d'une certaine profondeur, les racines ne sont pas distribuées de manière homogène, mais concentrées spatialement. Nous avons par ailleurs identifié un effet du type de sol sur l'enracinement des arbres. Nous avons pu observer une quantité totale de racines plus élevée et une répartition des racines plus équitables sur les profils racinaires de M'baïki que sur ceux de Ngotto. Ces résultats, ainsi que la présence d'un mat racinaire à Ngotto, semble indiquer que les sols sablo-argileux de M'baïki sont plus fertiles que les sols sableux de Ngotto, où l'assimilation des éléments minéraux issus de la minéralisation de la matière organique se fait en surface par recyclage direct. Cela peut aisément se vérifier en effectuant des analyses de sols sur les échantillons prélevés (annexe 2). Dans cette étude, nous interprétons donc la profondeur d'enracinement de la communauté d'arbres dans les sites de M'baïki et de Ngotto par une différence de fertilité chimiques des sols.

Des travaux complémentaires seraient nécessaires. En effet, il serait bien pour une prochaine recherche de faire plus de répétitions (augmenter le nombre de fosses : cinq ou six fosses de plus au moins) et d'aller jusqu'à au moins 10 m de profondeur sur chaque fosse afin de noter le front racinaire. Plus encore, il est important de quantifier la distribution relative des racines dans ces sites et les relier à la fertilité chimique des sols. Les résultats seront ainsi plus importants et vont apporter plus d'éclaircissement sur la profondeur d'enracinement des arbres en forêts tropicales humides dans le bassin du Congo.



## Références bibliographiques

- Aubréville, A.1950. Flore forestière soudano-guinéenne: AOF-Cameroun-AEF. Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales.
- Baize, D., Jabiol, B.1995. Guide pour la description des sols. Institut National de la Recherche Agronomique, 163-172.
- Bedel, F., Durrieu de Madron, L., Dupuy, B., Favrichon, V., Maître, H. F., Bar-Hen, A. & Narboni, P.1998. Dynamique de croissance dans les peuplements exploités et éclaircis de forêt dense africaine : dispositif de M'Baïki en République Centrafricaine (1982-1995). CIRAD-Forêt, Montpellier, France (Forafri n°1). 72p.
- Bloom, A. J., Chapin, F. S. III & Mooney, H. A.1985. Resource limitation in plants-an economic analogy. Annual Review of Ecology and Systematic. 16:363-93
- Bonal, D., Atger, T., Barigah, T., Fehri, A., Guehl, J-M & Ferry, B.2000. Water acquisition pattern of two wet tropical canopy tree species of French Guiana as inferred from H<sub>2</sub><sup>18</sup>O extraction
- Bongers, F., Engelen, D. & Klinge, H.1985. Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in southern Venezuela: the Bana woodland. Plant Ecology, 63, 13-34.
- Boulvert, Y.1983. Carte pédologique de la République centrafricaine à 1:2 000. ORSTOM.
- Boulvert, Y.1986. Phytogéographie de la République centrafricaine. ORSTOM.
- Bouillet, J-P., Laclau, J-P, M'Bou, A., Saint-André, L., Jourdan, C. 2002. Changes with age in the spatial distribution of roots of *Eucalyptus* clone in Congo. Impact on water and nutrient uptake. Forest Ecology and Management, 171, 43-57.
- Callot, G., Chamayou, H., Maerterns, C. & Salsac, L.1982. Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. Institut National de la Recherche Agronomique, 210-219
- Canadell, J., Jackson, R.B., Ehleringer, J.B., Mooney, H.A., Sala, O.E., & Sculze, E.D.1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, 108, 583-595.

Cerri, C.C. & Volkof, B.1987. Carbon content in a yellow Latosol of central Amazon rain forest. *Acta oecologia, Oecologia Generalis*, 8(1), 29-42.

Christina, M., Laclau, J-P., Gonçalves, J.L., Jourdan, C. & Bouillet, J-P.2011. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. *ECOSPHERE*, 2 (3), 10 p.

Coomes, D. A. & Grubb, P. J.1996. Amazonian caatinga and related communities at La Esmeralda, Venezuela: Forest structure, physiognomy and floristics, and control by soil factors. *Vegetation* 122, 167–191.

Drénou, C.2006. Les racines. Face cachée des arbres. Institut pour le Développement Forestier, 90-96 ; 124-131 ; 156-186; 302-306.

Espeleta, J-F. & Clark, D.A. 2007. Multi-scale variation in fine-root biomass in a tropical rain forest: a seven-year study. *Ecological Society of America*, 77(3), pp377-404.

Etat des forêts du bassin du Congo. 2009. Livres

Ferry, B., Atger, C., Bereau, M., Bonal, D., Louisanna, E., Roggy, J-C., Guehl, J-M., Garbaye, J., Domenach, A.-M. & Fehri, A.2001. Déterminisme de la structure spatiale des écosystèmes forestiers guyanais : stratégies d'acquisition et d'utilisation des ressources hydriques et minérales dans différents types de sol. Rapport final de projet. Programme SOFT. 28p.

Freytet, F. 1992. Annexe n°1 : Etude pédologique. In Rapport d'activité (février 1991 - avril 1992). Travaux de recherche sur l'aménagement des forêts denses humides. Dispositif de Boukoko - La Lolé, M'Baïki (Lobaye) (eds F. Freytet & G. Tandeau de Marsac). Ministère des eaux et forêts, ONF, Projet FAC/ARRF, Bangui.

Freycon, V., Sabatier, D., Paget, D. & Ferry, B.2003. Influence du sol sur la végétation arborescente en forêt guyanaise : état des connaissances. *Revue Forestière Française*, 60-73.

Gourlet-Fleury, S., Rossi, V., Réjou-Méchain, M., Freycon, V., Fayolle, A., Saint-André, L., Cornu, G., Gérard, J., Sarrailh, J.M., Flores, O., Baya, F., Billand, A., Fauvet, N., Gally, M., Henry, M., Hubert, D., Pasquier, A. & Picard, N. 2011. Environmental filtering of dense-wooded species controls aboveground biomass stored on nutrient-poor soils in African moist forests. *Journal of Ecology*. Volume 99, 981–990

Herrera R., Jordan C.F., Klinge, H. & Medina, E.1978. Amazonian ecosystems: Their structure and function with particular emphasis on nutrients. *Interciencia* 3, 223–232.

Ichii, K., Hashimoto, H., White, M.A., Potter, C., Huttyra, L.R., Huete, A.R., Myneni, R.B.& Nemani, R.R. 2007. Constraining rooting depths in tropical rainforests using satellite data and ecosystem modeling for accurate simulation of gross primary production seasonality. *Global Change Biology*. Volume 13, 67-77.

Jordan, C.F. 1985. *Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems*. John Wiley and Sons, Chichester. 190 p.

Kleidon, A.L. & Heimann, M.1998. A method of determining rooting depth from a terrestrial biosphere model and its impacts on the global water and carbon cycle. *Global Change Biology*, 4, 275-286.

Laclau, J-P., Arnaud, M., Bouillet, J-P. & Ranger, J. 2001. Spatial distribution of Eucalyptus roots in a deep sandy soil in the Congo: relationships with the ability of the stand to take up water and nutrients. *Tree Physiology*, 21, 129-136.

Lourmas, M. 2005. Impact de l'Exploitation Forestière sur la Démographie et la Dynamique de la Diversité Génétique. Le cas d'une espèce de forêt tropicale humide africaine, le Sapelli (*Entandrophragma cylindricum Sprague Sprague*). Thèses. Université de Montpellier 2.

Nepstad, D., R. de Carvalho, C., Davidson, E., Jipp, P., Lefebvre, P., Negreiros, G., D. da Silva, E., Stone, T., Trumbore, S., & Vieira, S.1994. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forest and pastures. *Nature*, 372, 666-669.

Parmesan, C. & Yohe, G.2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.

Phillips, O.L., Aragão, L.E.O.C., Lewis, S.L., Fisher, J.B., Lloyd, J., Lopez-Gonzalez, G., et al. 2009. Drought sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science journal*, 323, 1344-1347.

Prentice, K.C.1990. Bioclimatic distribution of vegetation for general circulation model studies. *Journal of Geophysical Research*, 95, 11811.

Root, T.L., Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C. & Pounds J.A.2003b. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421, 57-60.

Schenk, J. & Jackson, R.2002. The global biogeography of roots. *Ecological Monographs*, 72(3), 311-328.

Sternberg, L., Green, L., Moreira, M., Nepstad, D., Martinelli, A. & Victoria, R.1998. Roots distribution in an Amazonian seasonal forest as derived from  $\delta^{13}\text{C}$ . *Plant and soil* 205:45-50.

Vitousek, P.M. & Sanford, R.L.1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 17, 1

Yamada, T., Suzuki, E., Yamakura, T. & Tan, S. 2005. Tap-root depth of tropical seedlings in relation to species-specific edaphic preferences. *Journal of Tropical Ecology*, 21, 155-160.

**Annexe 1 :** Commentaires de deux géologues, Hubert Mapoka et David-Christian Vonto, de l'Université de Bangui sur certaines roches prélevées dans les fosses de M'baïki

Fosses	Profondeur (cm)	Commentaires
M'baïki_F1	220	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compression latéritique enrichie en fer (oxydation de fer)</li> <li>- Roche sédimentaire (roche détritique)</li> </ul>
M'baïki_F1	250	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quartzite mélangé (roche de contact). Ceci présage un changement de faciès (en bas une roche plus ou moins compétente)</li> <li>- Allongement de grains (échantillon bressifié) avec une oxydation de fer (moins élevé que les deux autres)</li> </ul>
M'baïki_F1	400	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Latérite (silice+fer+aluminium) en contact avec les racines</li> <li>- Roches friables (le ferromagnésien s'altère pour donner de l'argile). Dans l'argile (il y a le <math>\text{SiO}_4</math> et le <math>\text{Al}(\text{OH})_3</math> (taux d'oxydation de fer plus élevé)</li> </ul>
M'baïki_F2	420	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grès ferrugineux conglomératique</li> <li>Galets de quartz (altération du quartz libéré)</li> <li>- La couleur jaune ocre provient de l'altération d'un minéral ferromagnésien à identifier en faisant une lame mince</li> <li>- Grès ferrugineux à nodules (latéritique) provenant de l'oxydation du fer (taux d'oxydation plus élevé)</li> </ul>
M'baïki_F2	475	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Galet ou filon de quartz fragmenté dû à un mouvement tectonique (zone de fissure)</li> <li>- Roche sédimentaire</li> </ul>
M'baïki_F2	500	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bloc de grès venant du sable consolidé (la silice a recristallisé le grès). Quand c'est fortement cristallisé on a le grès-quartzite qui est des roches métamorphiques</li> <li>Roche friable (roche sédimentaire)</li> <li>- Taux de fer oxydé moins élevé</li> </ul>

**Annexe 2 :** Sept échantillons de sols, de volume = 803,84 cm<sup>3</sup>, prélevés à Ngotto\_F2 pour analyses

Profondeur (cm)	Distance (cm)	Poids frais sol	Poids sec sol
220	140	1218	1156
230	60	1294	1256
	100	1352	1288
270	10	1304	1242
290	10	1104	992
	100	1354	1198
300	130	1250	1188

**Annexe 3 :** Nombre de racines comptés par sondage tarière dans les deux sites

	Ngotto_F2			M'baïki_F2		
Classe de profondeur (cm)	0-50 cm	50-100 cm	100-150 cm	0-50 cm	50-100 cm	100-150 cm
300-320	3	9	6			
330-350	3	32	17			
380-400	3	8	11			
400-420	1	0	3			
430-450	2	0	4			
480-500	2	3	0			
500-520	0	1	0			
600-620				10	24	14
630-650				3	16	8
680-700				3	46	5
700-720				25	71	23
730-750				5	33	22
780-800				6	35	7

**Annexe 4 :** Tableau de données brutes récapitulant le nombre d'impacts racinaires par taille des racines dans les quatre fosses: prof (profondeur du sol en cm), racines fines (F), moyennes (M), grosses (G) et totales (T)

Prof	M'baiki_F1				M'baiki_F2				Ngotto_F1				Ngotto_F2			
	F	M	G	T	F	M	G	T	F	M	G	T	F	M	G	T
10	111	80	3	194	247	120	4	371	380	129	0	509	255	108	1	364
20	131	54	0	185	136	53	7	196	84	101	1	186	74	89	3	166
30	104	26	1	131	107	44	1	152	128	146	5	279	57	75	3	135
40	60	41	1	102	81	11	0	92	92	107	2	201	34	52	6	92
50	59	33	1	93	75	10	0	85	52	101	5	158	47	65	3	115
60	77	10	1	88	67	18	1	86	35	68	3	106	29	28	1	58
70	59	15	1	75	69	10	0	79	59	41	3	103	31	20	1	52
80	60	18	0	78	51	9	0	60	24	41	2	67	14	33	0	47
90	86	14	0	100	51	3	1	55	28	39	0	67	24	22	1	47
100	96	8	1	105	50	6	0	56	41	19	0	60	26	25	0	51
110	112	10	0	122	72	6	0	78	41	14	0	55	45	23	1	69
120	84	11	0	95	66	7	0	73	31	16	1	48	18	13	0	31
130	62	10	0	72	133	9	0	142	30	8	0	38	10	10	0	20
140	42	3	0	45	56	11	0	67	16	9	0	25	5	14	0	19
150	60	8	0	68	74	7	0	81	38	8	0	46	9	12	0	21
160	41	7	0	48	49	5	1	55	13	6	0	19	6	13	0	19
170	70	3	0	73	35	4	0	39	22	6	0	28	10	18	0	28
180	51	5	0	56	29	10	0	39	21	2	0	23	15	15	0	30
190	39	4	0	43	24	4	0	28	22	9	0	31	3	10	0	13
200	32	5	0	37	23	1	0	24	9	7	0	16	5	8	0	13
210	67	16	0	83	33	5	0	38	6	9	0	15	4	7	0	11
220	66	6	0	72	33	2	0	35	8	6	0	14	3	7	0	10
230	81	8	0	89	37	2	1	40	20	2	0	22	2	5	0	7
240	78	9	0	87	40	1	0	41	7	0	0	7	4	10	0	14
250	54	2	0	56	25	7	0	32	4	6	0	10	6	8	0	14
260	63	13	0	76	22	7	0	29	4	1	0	5	7	6	0	13
270	57	8	0	65	18	1	0	19	1	1	0	2	2	15	0	17
280	35	12	0	47	19	4	0	23	1	1	0	2	5	6	0	11
290	43	6	0	49	13	1	0	14	2	1	0	3	10	12	0	22
300	46	7	0	53	27	0	0	27	2	3	0	5	6	7	0	13
310	42	8	0	50	28	4	0	32								
320	40	12	0	52	20	3	0	23								
330	27	11	0	38	24	5	0	29								
340	29	10	0	39	19	5	0	24								
350	16	3	0	19	40	2	0	42								
360	25	1	0	26	18	0	0	18								
370	21	0	0	21	16	0	0	16								
380	35	13	0	48	11	0	0	11								
390	49	17	0	66	9	0	0	9								
400	27	7	0	34	8	0	0	8								
410	37	17	0	54	30	3	0	33								
420	65	22	0	87	7	3	0	10								
430	88	27	1	116	12	11	0	23								
440	86	23	0	109	21	5	0	26								
450	20	4	0	24	11	3	0	14								
460	11	5	0	16	5	0	0	5								
470	12	7	0	19	6	0	0	6								
480	12	2	0	14	4	0	0	4								
490	3	0	0	3	7	3	0	10								
500	0	2	0	2	3	0	0	3								
510	7	0	0	7	9	0	0	9								
520	2	0	0	2	2	4	0	6								
530	2	2	0	4	5	2	0	7								
540	20	0	0	20	4	0	0	4								
550	10	0	0	10	2	0	0	2								
560	9	1	0	10	2	1	0	3								
570	13	0	0	13	5	1	0	6								
580	15	6	0	21	6	2	0	8								
590	11	0	0	11	5	0	0	5								
600	34	1	0	35	5	3	0	8								



## Résumé

L'étude de la profondeur d'enracinement d'une communauté d'arbres en fonction du type de sol en forêt tropicale humide s'est faite sur deux sites situés en République centrafricaine, sur des substrats géologiques contrastés. Pour tester l'hypothèse selon laquelle les sols sableux favoriseraient un enracinement des arbres plus profond que les sols sablo-argileux, nous avons choisi une espèce commune aux deux sites, le sapelli, *Entandrophragma cylindricum* (Meliaceae). Quatre fosses (600 cm et 300 cm de profondeur respectivement à M'baïki et à Ngotto) de 300×150 cm à 50 cm d'un sapelli (dbh compris entre 40 et 50 cm) sont ouvertes. Le comptage des impacts racinaires sur le profil, et la description des profils pédologiques y sont réalisés. Ses racines atteignent des profondeurs supérieures à 500 cm, soit 800 cm à M'baïki et 520 cm à Ngotto. La présence d'un mat racinaire à Ngotto, semble indiquer que les sols sablo-argileux de M'baïki sont plus fertiles que les sols sableux de Ngotto. Une quantité totale de racines plus élevée et une répartition des racines équilibrée sur les profils racinaires de M'baïki que sur ceux de Ngotto ont été observées. Nous interprétons les variations de profondeur d'enracinement des arbres entre M'baïki et Ngotto par une différence de fertilité des sols.

**Mots clés :** Profondeur d'enracinement, *Entandrophragma cylindricum*, République centrafricaine, impacts racinaires, fosses, profil racinaire, fertilité des sols.

## Abstract

We studied the variations in tree rooting depth with the soil type in tropical moist forests. The two study sites were located in Central African Republic on contrasting geological substrates. To test the hypothesis that sandy soils do not retain water favor deeper roots than clay soils, we selected a common species between the two field sites, sapelli, *Entandrophragma cylindricum* (Meliaceae). We opened four pits 300×150 cm pits of 600 cm and 300 cm deep respectively at M'baïki and Ngotto. Pits were located 50 cm closed to a sapelli (dbh between 40 and 50 cm). The roots of sapelli usually reached 500 cm deep, 800 cm and 520 cm respectively at M'baïki and Ngotto. The spatial distribution of roots is heterogenous above a certain threshold. We identified an effect of soil type on the root system. We observed a higher number of roots and a more even root distribution across the profil at M'baïki than at Ngotto. The presence of a root mat at Ngotto, suggest that clay soils of Mbaïki are more fertile than sandy soils of Ngotto, where the assimilation of nutrients is performed at the soil surface directly from the mineralization of organic matter (direct cycling). We interpreted the variations in root system of sapelli between M'baïki and Ngotto as the result of soil fertility.

**Keys words:** Rooting depth, *Entandrophragma cylindricum*, Central African Republic, root impacts, pits, root profile, soil fertility.